

PROSIDING

SEMINAR NASIONAL
FUNDAMENTAL DAN APLIKASI
TEKNIK KIMIA 2011



ISSN : 1410-5667

Tema:

Peran Keteknik Kimiaan dalam Menanggulangi
Permasalahan Lingkungan dan Energi



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia 2011

Dewan Editor :

Prof. Renanto (Ketua)

Prof. Tri Widjaja

Prof. Sugeng Winardi

Prof. Nonot Soewarno

Prof. Ali Altway

Prof. A. Roesyadi

Prof. Rochimoellah

Prof. Mahfud

Prof. Gede Wibawa

Prof. Heru Setyawan

Prof. Arief Widjaja

Dr. Kusnarjo

Dr. Tontowi Ismail

Minta Yuwana, MS

Prof. Widodo Wahyu Purwanto

Diterbitkan oleh Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Copyright©2011, 2010, 2008, 2007, 2005, 2004, 2002, 2001, 2000, 1999, 1998, 1997 Oleh Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia.

ISSN : 1410-5667

DAFTAR ISI

Sampul	
Kata Pengantar	
Daftar Isi	
Makalah Keynote Speech	
Makalah Plenary Lecture	

Energi (E)	
E1	TEKNOLOGI STD UNTUK PENINGKATAN KALORI BATUBARA DI PEMBANGKIT LISTRIK, Hartiniati, Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi, BPPT
E2	PELUANG CPO PARIT SEBAGAI BAHAN BAKU BIODIESEL, Renita Manurung ¹ , M. Anshori Nasution ² , Rizki Hakiki dan Meuthia Nurfahadi ¹ , ¹ Departemen Teknik Kimia USU; ² Pusat Penelitian Kelapa Sawit Medan
E3	TRANSESTERIFIKASI MINYAK KELAPA SAWIT DENGAN MENGGUNAKAN KATALIS PADAT DARI CANGKANG KEONG EMAS (<i>Pomacea</i> sp), Henry Sanaga Prastyo, Yosephine Yulia Margaretha, Aning Ayucitra, Suryadi Ismadji*, Jurusan Teknik Kimia, Unika Widya Mandala Surabaya
E4	Pemanfaatan Zeolit Alam sebagai Katalis Murah dalam Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit, Ricky Indra Kusuma, Johan Prabowo Hadinoto, Aning Ayucitra, Suryadi Ismadji*, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
E5	KATALIS DARI LIMBAH KERANG BATIK (<i>Paphia Undulata</i>) UNTUK PEMBUATAN BIODIESEL DARI MINYAK KELAPA SAWIT, Hendra D Tantra, Edo Tandean, Nani Indraswati, dan Suryadi Ismadji, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
E6	Pembuatan Asap Cair (Liquid Smoke) dari Proses Karbonisasi Tempurung Kelapa dan Kulit Kacang, Siti Jamilatun, Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta
E7	Pengembangan Produk Baru PERTAMAX RACING, Team Pengembangan PERTAMAX RACING PT. PERTAMINA, RU-III, R&D Dit. Pengolahan dan NPD Dit. Pemasaran, PT. PERTAMINA (Persero)
E8	STUDI OPTIMALISASI PENGGUNAAN METANOL DALAM PROSES TRANSESTERIFIKASI MEMANFAATKAN GELOMBANG MIKRO DENGAN KATALIS KOH PADA PEMBUATAN BIODIESEL BERBAHAN DASAR MINYAK JELANTAH, Cyntia D ¹ , Satwiko S ² dan Riskiono S ² , FMIPA, Universitas Negeri Jakarta, Jakarta
E9	STUDI SIFAT FISIK DAN KIMIA BIODIESEL BERBAHAN DASAR MINYAK JELANTAH DENGAN MENGGUNAKAN GELOMBANG MIKRO, Niken Widiyanti ¹ , Satwiko S ² dan Riskiono S ² , FMIPA, Universitas Negeri Jakarta
E10	Produksi Hidrogen dari Gliserol dan Air Menggunakan Foto-katalis Nanokomposit Berbasis Titania, Slamet ¹ , Agus Salim Afrozi ² , Setiadi ¹ , M. Ibadurrohman ¹ , ¹ Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia ¹ , ² Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN)
E11	Tinjauan Perkembangan Teknologi Gasifikasi Batubara di Indonesia, Nugroho Adi Sasongko, Lambok H Silalahi, M.A.M Oktaufik, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)

- E12 PENGARUH DARI PRETREATMENT BASA (NaOH) DAN OLR (ORGANIC LOADING RATE) DALAM PEMANFAATAN SERBUK GERGAJI (SAWDUST) SEBAGAI BIOGAS, Sri Rachmania Juliastuti ^{1,2}, Nuniek Hendrianie ³, Ento Fajar Nitibiono ³, Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
- E13 PENGARUH SIKULASI TERHADAP PRODUKSI BIOGAS DARI KOTORAN SAPI DENGAN BIOREAKTOR 4,500 LITER, Suci Madha Nia, Nonot Soewarno dan Ali Altway, Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
- E14 HIDROLISIS BIJI SORGUM MENJADI BIOETANOL MENGGUNAKAN NaOH – PAPAIN DENGAN METODE SAKARIFIKASI DAN FERMENTASI SIMULTAN, Nonot Soewarno, Ali Altway dan Suci Madha Nia, Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Bioteknologi dan Biokimia (B)

- B1 Pengaruh Daya Terhadap Degradasi Gliserol Secara Batch Menggunakan Microwave, L. Qadaryah, Sumarno, Mahfud, A. Raditya, B.F.S., Wingo, W.W., Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
- B2 Biosensor Glukosa Amperometrik dengan *Prussian Blue / Glucose oxidase* yang Diimmobilisasi dengan Metode Sol-gel Berbasis Senyawa Alkoksida, Adrian Nur, Debora Puspitasari, Dian Ningsih, Arief Widjaja, Minta Yuwana, Heru Setyawan*, Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
- B3 Pengaruh Hidrolisis Enzim pada Produksi Etanol dari Limbah Padat Tepung Tapioka (Onggok), Budi Setiawan, Tri Widjaja*, Mulyanto, , Khaula Permana P., Sidha Rahmasari, Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- B4 Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat pada Hidrolisa Asam Dalam Pembuatan etanol dari Onggok (Limbah Padat Tepung Tapioka), Budi Setiawan, Tri Widjaja, Tontowi Ismail, Rizka Dwi Atika, dan Arinda Dwi Apsari, Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- B5 OPTIMASI PRETREATMENT ALKALI PADA PRODUKSI XILOSA DARI XILAN DALAM JERAMI PADU SECARA ENZIMATIK, Arief Widjaja*, Herdin Hidayat, Herlis Madu Ika W, Nadiem Anwar., Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
- B6 PEMERIKSAAN KADAR KALIUM (K), NATRIUM (Na), KALSIMUM (Ca), MAGNESIUM (Mg), DAN FOSFOR (P), PADA PISANG MAS (*Musa paradisiaca* L.var.mas), Dini Kesuma*, Soediatmoko S, Yosi Chandra P, Fakultas Farmasi Universitas Surabaya
- B7 Produksi Biodiesel dari Minyak Dedak Padi Menggunakan Metode Modifikasi *In-Situ* Esterifikasi, Siti Zulfalah¹, Arista permatasari², Indah marita¹, Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Desain Peralatan (DP)

- DP1 Atmospheric Condensate (Water) Flash Drum Design Modification, Muhammad Arief Setiawan, S. T., PT Badak NGL
- DP2 Improvement of Loading Arms Cooldown Facility, Ferry Adhi Perdana, S. T., PT Badak NGL
- DP3 PENCEGAHAN BOCORAN ATAU KERUSAKAN TANGKI AMONIAK DENGAN PENGECEKAN RUTIN SETIAP 5 TAHUN, Radya Purna Wijaya, Bagian Utilitas II PT Petrokimia Gresik,

Fenomena Perpindahan (FP)

- FP1 SIMULASI ABSORPSI CO₂ DAN H₂S DARI GAS ALAM MENGGUNAKAN LARUTAN MDEA PADA TRAY COLUMN, **Mohammad Rozi, Harisma Lathifah, Deery Adrian, Kusnarjo, Kusno Budikarjono, Susianto dan Ali Altway**, Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- FP2 Penjernihan Minyak Cengkeh dengan Membran Ultrafiltrasi, **Sri Redjeki**, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri UPN "Veteran" Jawa Timur
- FP3 Pengaruh Hidrofilisasi Membran Terhadap Perilaku Fouling dalam Ultrafiltrasi Larutan Model Extracellular Polymeric Substances, **Heru Susanto**, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang
- FP4 PERPINDAHAN PANAS DAN MASSA PADA EVAPORASI NIRA DI DALAM FALLING FILM EVAPORATOR DENGAN ADANYA ALIRAN UDARA, **Susianto, Suhadi, Altway A., Budhikarjono K.**, Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- FP5 PEMBUATAN ETANOL ABSOLUT DENGAN DISTILASI DAN ADSORBSI MENGGUNAKAN MOLECULAR SIEVE 3A, **Widhiyastuti, J.Sergio.G, Hartal.D.W, Nonot Soewarno**, Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Kampus ITS Surabaya
-

Kinetika, Katalisa dan Reaktor Kimia (KR)

- KR1 Pemodelan dan Simulasi Oksidasi dan Pembakaran Sikloheksana sebagai Komponen Bahan Bakar Bensin, **Yuswan Muharam, Cepi Supriyadi, Chandra Hadiwijaya dan Jacquin Suryadi**, Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia Depok
- KR2 STUDI KINETIKA REAKSI PROSES DEHIDRASI BIOETANOL DENGAN KATALIS H-ZEOLIT, **Widayat¹, A Roesyadi and HM Rachimoellah**, Department of Chemical Engineering, Institute of Technology Sepuluh Nopember Surabaya, ^{*)}. Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering Diponegoro University
- KR3 Kinetika Reaksi Hidroxyapatite berdasarkan Analisis Thermogravimetri dan Differential Thermal, **Adhi Setiawan, Widiyastuti, Sugeng Winardi**, Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
- KR4 PROSES PEMBUATAN EMULSIFIER METIL ESTER SULFONAT (MES) DARI METIL ESTER (BODIESEL): KAJIAN KINETIKA REAKSI SULFONASI DAN UJI KINERJA EMULSIFIER YANG DIHASILKAN, **Ariani, Wahyu A.W, Chaula L.K.P, Imam Syafril, Suprpto**, Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
-

Pendidikan Teknik Kimia (PT)

- PT1 Developing transferable skills through Problem-Based Learning approach in Chemical Engineering Courses, **Kamarza Mulia* and Elsa Krisanti**, Chemical Engineering Department, University of Indonesia, Depok, Indonesia
-

Teknologi Material (TM)

- TM1 Pengaruh Proses Leaching Pada Film Lateks Karet Alam Berpengisi Tepung Kulit Pisang, **Hamidah Harahap**, Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara
- TM2 KOMPOSIT KITOSAN DAN PATI AMILOSA SEBAGAI PLASTIK BIODEGRADABEL, **Karsono Samuel Padmawijaya¹ dan Sumarno**, Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
- TM3 PROSES PEMBUATAN DEVAIS SENSOR GAS DIATAS SUBSTRAT ALUMINA (Al₂O₃) DENGAN TEKNOLOGI FILM TEBAL, **Sfamet Widodo, PPET-LIPI, Komp. LIPI Bandung**
-

- TM4 PEMBUATAN NANO PARTIKEL METAL OKSIDA DENGAN TEKNOLOGI SOL GEL UNTUK APLIKASI SENSOR GAS, Slamet Widodo, PPET-LIPI, Komp. LIPI Bandung
- TM5 Utilization of Hydrothermal Medium in Inorganic Chemical Reaction: Lithium Iron Phosphate Production, Firman Kurniawansyah^{1*}, Sumarno¹, Amyn S Teja², ¹Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, ²School of Chemical and Biomolecular Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA
- TM6 Pengaruh Jenis Prekursor Aluminium terhadap Pembentukan ZnO:Al dengan Metode *Spray Pyrolysis*, S. Winardi, A. Halim, A. Setiawan, D. Ornella, T. B. Santosa, Widiyastuti, Kusdianto, T. Nurtono, Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
- TM7 Studi properti fisik coating polyurethane, Budiarfy, D. Tagaril, E. Ningrum, Sumarno, Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
- TM8 Pemrosesan Limbah Cair Berwarna dengan Starch-graft Polyacrylamide (St-g-PAM) dan Polyaluminium Chloride(PAC), Sumarno*, Ade Prilisia K., Handini Saputri, Firman Kurniawansyah, Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Pengolahan limbah (PL)

- PL1 PEMANFAATAN LIMBAH TONGKOL JAGUNG DAN TEMPURUNG KELAPA MENJADI BRIKET SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF DENGAN PROSES KARBONISASI DAN NON KARBONISASI, Nuniek Hendrianie, Dyah Winarni, Sri Rachmania Juliastuti, Dylla Chandra Wilasita, Ragil Purwaningsih, Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
- PL2 Pengolahan Limbah Cair dengan Kandungan Amoniak Tinggi secara Biologi Menggunakan Membrane Bioreaktor (MBR), Tri Widjaja^{*1}, Tontowi Ismail^{**1}, Umi Rofiqah², Marry Fuslita², Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
- PL3 Mercury Removal from Water Using Emulsion Liquid Membrane Containing Oleic Acid-Kerosene-Span-80-Tween-20, Kamarza Mulia*, Elsa Krisanti, Zainuddin S, Mulyazmi, Chemical Engineering Department, University of Indonesia, Depok Indonesia
- PL4 VARIASI KONDISI OPERASI STEAM PRE-TREATMENT SAWDUST (SERBUK KAYU) SEBAGAI BAHAN BAKU PRODUKSI GLUKOSA, Nuniek Hendrianie, Sri Rachmania Juliastuti, Gema Arias, Elsa Astriana W., Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
- PL5 PENGARUH PENAMBAHAN KHITOSAN DAN PLASTICIZER GLISEROL PADA KARAKTERISTIK PLASTIK BIODEGRADABLE DARI PATI LIMBAH KULIT SINGKONG, Nuniek Hendrianie, Sri Rachmania Juliastuti, I Gede Sanjaya M.H, Tyas Puspita, Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
- PL6 MODIFIKASI KAOLIN DENGAN MENGGUNAKAN SURFAKTAN ALAMI DARI BUAH LERAK UNTUK MENGHILANGKAN ZAT WARNA MALACHITE GREEN, Anita Carolina Suwandi, Nani Indraswati, dan Suryadi Ismadji*, Jurusan Teknik Kimia, Unika Widya Mandala Surabaya
- PL7 PENGOLAHAN AIR SUNGAI MARTAPURA MENGGUNAKAN ALUMINA LIMBAH PADAT LUMPUR PDAM DAN TANAH LEMPUNG GAMBUT, Agus Mirwan, Hayatun Nupus, Putri Hanisya W., Program Studi Teknik Kimia Universitas Lambung Mangkurat
- PL8 Uji Kapasitas Adsorpsi Zeolit Alam Lampung Termodifikasi Dengan TiO₂ Terhadap Kapasitas Adsorpsi Pada Gas Karbon Monoksida., Yuliusman, Widodo WP, Yulianto

- S.N, M. Gondang AK., Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia, Depok
- PL9 SINERGI PHANEROCHAETE CHRYSOSPORIUM DAN ZEOLIT ALAM YANG DIMODIFIKASI UNTUK MEMPERCEPAT WAKTU DEGRADASI LIMBAH TEKSTIL, Dwina Moentamaria*, Nanik Hendrawati, Jurusan teknik Kimia Politeknik Negeri Malang
- PL10 PENURUNAN KADAR AMONIAK (NH₄-N) PADA LINDI DENGAN PROSES TRICKLING FILTER BIOLOGIS SEBAGAI BAHAN BAKU BIOGAS., S.R.Juliastuti^{1*}, Nuniek Hendrianie², Ginanjar Trio.P³, Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- PL11 Adsorpsi Gas NO₂ Oleh Zeolit Alam Teraktifasi Untuk Aplikasi Masker Pernafasan, Yuliusman, Sunardi, Rasyid Ginanjar Agustiar, Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia, Depok
- PL12 Pengaruh Mikroorganisme *Azotobacter chroococcum* dan *Bacillus megaterium* Terhadap Pembuatan Kompos Limbah Padat Digester Biogas dari Enceng Gondok (*Elchornia crassipes*), S.R. Juliastuti^{1,*}, Nuniek Hendriani², Angga Wisnu H.³, Endy Wisaksono P.⁴, Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
- PL13 PELET KOMPOS BERBAHAN PENGIKAT PATI SEBAGAI MEDIUM DALAM BIOSORPSI DINITROGEN MONOKSIDA, Tania Surya Utami, Yusmalia Rachma S., Jannati Sagala, Heri Hermansyah, Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia, Depok
- PL14 PENGARUH ION KALSIMUM TERHADAP KINERJA BAKTERI *Desulfotomobacter desulfuricans* UNTUK MEREDUKSI SULFAT PADA AIR LIMBAH BUANGAN INDUSTRI MINYAK BUMI, Farid Effendi, Dyah Winarni Rahaju, Rully Darmawan, Hidayat Firdaus, Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Thermodynamika (TD)

- TD1 Estimasi laju dan lokasi pertumbuhan co₂ frost dari campuran ch₄+co₂ pada peralatan freeze-out heat exchanger pressurized lng dengan tekanan operasi 20 barg, Setiyo Gunawan², Andi Pratama², Dian Puri P.S² dan Gede Wibawa^{1,*}, Winarsih¹, Pusat Studi Energi dan Rekayasa Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, ²Jurusan Teknik Kimia, FInstitut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- TD2 VALIDASI SIMULASI SISTEM BINER (ASETON-BUTANOL, ASETON-ETHANOL, ETHANOL-BUTANOL) DENGAN SISTEM BINER BENZENE-TOLUENE, Ni Ketut Sari*, Program Studi Teknik Kimia, UPN"Veteran" Jawa Timur, Surabaya
- TD3 Pengukuran Kesetimbangan Uap-Cair Sistem Biner Etanol + Etil Asetat dan Etanol + Isoamil Alkohol pada Tekanan 101,33, 79,99 dan 26,67 kPa, Kuswandi^{1,*}, Winarsih¹, D. Hartanto², A.A. Wibowo, ¹Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
- TD4 Measurement of Vapor Liquid Equilibria for Solvent-Polymer Systems Using Piezoelectric Quartz Crystal Microbalance (QCM) Method, Gede Wibawa*, Winarsih, Harsyatria Fitrio and Fetra Esatika, Dept. of Chemical Engineering, Sepuluh Nopember Institute of Technology
- TD5 VALIDASI SIMULASI SISTEM TERNER ASETON-BUTANOL, ETHANOL (ABE) DENGAN SISTEM TERNER METANOL-ETHANOL-PROPANOL (MEP), Ni Ketut Sari, Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, UPN"Veteran" Jawa Timur

Satuan Operasi (SO)

- SO1 PROSES EKSTRAKSI MINYAK DARI MIKROALGA JENIS CHLORELLA sp BERBANTUKAN ULTRASONIK, **Widayat¹**, **Hantoro Satriadi**, **Hadiyanto¹**, **Adhik Wati** dan **Sylvia Anggraeni Motto**, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
- SO2 EKSTRAKSI ANTI-OKSIDAN DARI BATANG SAGU DENGAN MENGGUNAKAN FLUIDA SUPERKRITIS, **Felycia Edi Soetaredjoa^{b,*}**, **Yi-Hsu Jua**, **Suryadi Ismadji^b**, ^a**Department of Chemical Engineering, National Taiwan University of Science and Technology, 43, sec. 4 Keelung Rd., Taipei, 106 Taiwan**

Rekayasa Sistem Proses (SP)

- SP1 Energy and Environment Conservation Program by Improve Driers Reactivation Compressor Mode of Operation In PT Badak NGL, **Dedik Rahmat Ermawan, S. T., PT Badak NGL**
- SP2 PROSES FABRIKASI MICROSENSOR ANISOTROPIC MAGNETORESISTIVE DIATAS SUBSTRAT SILIKON, **Slamet Widodo**, Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi - LIPI, Bandung
- SP3 PENENTUAN FAKTOR KOREKSI PADA ALAT PENGENDALI TEKANAN (DI LABORATORIUM PENGENDALI PROSES DI TEKNIK KIMIA POLITEKNIK NEGERI MALANG), **Zakijah Irfin**, **Profiyanti Hermien Suharti**, Jurusan T. Kimia, Politeknik Negeri Malang
- SP4 PENERAPAN BEBERAPA METODA TUNING PADA PENGENDALI ARAS (LEVEL CONTROLLER) DI LABORATORIUM PENGENDALIAN PROSES, JURUSAN TEKNIK KIMIA, POLITEKNIK NEGERI MALANG, **Profiyanti HS, ST., MT.**; **Zakijah Irfin ST., MT., Jurusan T. Kimia, Politeknik Negeri Malang**
- SP5 Pewarnaan Urea Subsidi Pada Fase Solid Dengan Bahan Organik, **Sidiq PN^{*1}**, **Muhlis Ahmadi^{*2, 1,2}** Dep Pengendalian Proses, PT Pupuk Kalimantan Timur, Bontang, Indonesia
- SP6 Peningkatan Kualitas Minyak Nilam Menggunakan Metode Steam-hydro distillation Skala Pilot, **B. Gotama¹**, **Y P. Wijilestari¹**, **D S. Bhuana¹**, **Mahfud^{*2}**, ¹Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
- SP7 PROTOTIPE DISTILASI-ADSORBSI TERINTEGRASI SECARA KONTINYU UNTUK MENDAPATKAN BIOETHANOL FUEL GRADE, **Ignatius Gunardi^{*}**, **Ganes Aditya G. W., Putu Mas Satvika G., Hakun W. Aparamarta dan Gede Wibawa**, Jurusan Teknik Kimia, ITS, Surabaya
- SP8 Degumming Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) Menggunakan Membrane Polypropylene, **Romanus Krisantus Tue Nenu**, **Siti Zullaikah, M. Rachimoellah, dan Nidya Santoso**, Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Validasi Simulasi Sistem Ternern Aseton-Butanol, Ethanol (Abe) Dengan Sistem Ternern Metanol-Ethanol-Propanol (Mep)

Ni Ketut Sari

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, UPN "Veteran" Jawa Timur,
Jalan Raya Rungkut Madya Gunung Anyar Surabaya, Telpn 031-8782179, Fax 031-8782257
Email: sari_ketut@yahoo.co.id

ABSTRAK

Validasi simulasi sistem ternern aseton-butanol-ethanol dengan sistem ternern metanol-ethanol-propanol dipergunakan untuk mengetahui apakah program simulasi sudah benar atau belum, sehingga dicoba sistem biner lainnya untuk validasi. Dengan mengetahui profil temperatur, profil komposisi liquids di bottom secara distilasi batch dengan simulasi, bisa sebagai acuan dalam proses eksperimental dan menghemat biaya penelitian.

Untuk pemisahan sistem ternern aseton-butanol-ethanol dilakukan penelitian secara simulasi sebelum dilakukan penelitian secara eksperimental, supaya dalam penentuan variabel penelitian bisa lebih terarah dan biaya penelitian lebih murah. Simulasi sistem ternern aseton-butanol-ethanol secara distilasi batch menggunakan metoda rigorous, model DAEs dan bahasa Matlab. Hasil dari simulasi sistem ternern aseton-butanol-ethanol kemudian divalidasi dengan sistem ternern metanol-ethanol-propanol dan validasi secara topologi. Penggunaan sistem ternern aseton-butanol-ethanol dalam komparasi sistem ternern metanol-ethanol-propanol, karena diprediksi campuran sistem ternern aseton-butanol-ethanol membentuk campuran zeotropik. Hasil simulasi berupa profil temperatur, profil komposisi liquids di bottom fungsi dimensionless waktu.

Hasil menunjukkan bahwa simulasi sistem ternern aseton-butanol-ethanol menunjukkan campuran azeotropik, validasi dengan sistem ternern metanol-ethanol-propanol dan validasi topologi mendekati hasil yang sama.

Kata kunci : dimensionless waktu, distilasi batch, sistem ternern, validasi, zeotropik.

PENDAHULUAN

Dalam industri kimia, proses fermentasi adalah salah satu cara untuk mendapatkan senyawa kimia dengan bantuan mikroorganisme, selanjutnya produk fermentasi masuk pada tahap pemisahan. Pada tahap ini sangat penting untuk menghasilkan produk dengan kemurnian tertentu, salah satu peralatan yang umum digunakan pada proses pemisahan adalah kolom distilasi batch. Proses pemisahan dalam industri umumnya pemisahan multikomponen dan jarang pemisahan biner, oleh karena itu sangat penting untuk meninjau distilasi batch multikomponen. Desain distilasi batch multi komponen umumnya diperoleh dengan melakukan simulasi, agar diperoleh hasil simulasi yang mendekati dengan keadaan sebenarnya maka dibutuhkan data termodinamika yang akurat.

Dalam proses pemisahan, data termodinamika yang paling dominan berpengaruh pada kinerja proses adalah kesetimbangan fase. Salah satu korelasi termodinamika moderen dalam mempersentasikan kelakuan campuran tidak ideal

adalah persamaan UNIQUAC, perkiraan kesetimbangan sistem ternern dan kuarternern dapat dilakukan hanya berdasarkan data percobaan sistem biner. Model-model aktifitas koefisien dengan persamaan UNIQUAC dikembangkan dari campuran biner, dan mempunyai keuntungan untuk aplikasi pada campuran sistem multi komponen karena hanya membutuhkan parameter biner (tidak membutuhkan parameter tambahan). Tetapi kerugian model tersebut tidak selalu berhasil dalam memperkirakan kesetimbangan sistem multi komponen yang menunjukkan campuran yang sangat tidak ideal lebih-lebih untuk campuran yang mempunyai pasangan dengan kelakuan terbatas seperti butanol-air. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan pengukuran data kesetimbangan sistem biner secara akurat dan model estimasi parameter-parameter dari model koefisien aktifitas sehingga parameter-parameter tersebut dapat digunakan untuk memperkirakan kesetimbangan uap-cair sistem multi komponen secara akurat.

Dari hasil simulasi sistem ternern yang diperoleh, untuk melihat profil pergerakan komposisi liquids di

bottom maka digambar dalam bentuk peta kurva residu. Dari peta kurva di residu sistem terner tersebut bisa diketahui apakah suatu campuran terner tersebut membentuk campuran zeotropik atau azeotropik. Dari campuran azeotropik dibedakan menjadi campuran azeotropik homogen dan campuran azeotropik heterogen. Untuk campuran azeotropik homogen setelah dilakukan pemisahan maka hasil yang diperoleh membentuk satu fase dan titik azeotropnya tidak terletak pada liquid-liquid-Equilibrium (LLE), sedangkan untuk campuran azeotropik heterogen setelah dilakukan pemisahan hasil yang diperoleh membentuk lebih dari satu fase dan titik azeotropnya berada pada LLE. Kemudian dikembangkan lebih jauh untuk sistem multi komponen, yaitu dalam bentuk peta kurva residu campuran azeotropik homogen dan heterogen, profil pergerakan komposisi likuida di residu apakah membentuk campuran zeotropik atau azeotropik.

Sistem terner seperti isopropanol-air-benzene membentuk campuran azeotropik pseudo-homogen sudah diteliti oleh Pham dan Doherty (1990). Sistem terner seperti chloroform-benzene-aceton (Fidkowski dkk. 1993), aseton-heptane-benzene (Henley dan Seader 1998), aseton-air-methyl ethyl keton (Walters dkk. 2002) dan isopropanol-methyl cyclohexane-toluene (Egbewoto dan Fletcher 2003) membentuk campuran azeotropik homogen. Sistem terner lainnya yang membentuk campuran azeotropik heterogen seperti etanol-air-benzene (Henley dan Seader 1998), etanol-air toluene (Henley dan Seader 1998). Sistem terner lainnya seperti nitrogen-argon-oksigen membentuk campuran tanpa azeotropik atau zeotropik, octane-2 ethoxy etanol-ethyl benzene membentuk sistem biner azeotropik, aseton-chloroform-methanol membentuk sistem biner dan terner azeotropik (Widagdo dan Seider 1996). Dari hasil penelitian terdahulu, belum ada yang membuat peta kurva residu bagi campuran terner ABE.

Dari peta kurva residu yang diperoleh kemudian dilakukan validasi, yaitu validasi secara hubungan topologi. Untuk validasi secara hubungan topologi menggunakan persamaan yang sudah ada pada literatur (Henley dan Seader 1998). Untuk mengetahui apakah listing program simulasi sistem terner sudah berlaku secara umum, maka dilakukan validasi berdasarkan data dari literatur. Banyak sistem terner yang sudah ada pada literatur atau jurnal yang bisa dipakai untuk validasi sistem terner Etanol-Air-HCl, salah satu sistem terner yang digunakan adalah sistem terner yang membentuk campuran azeotropik yaitu Metanol-Etanol-Air.

Pada tekanan rendah, fase uap mendekati gas ideal sehingga kesetimbangan uap liquid tekanan rendah menjadi :

$$\gamma_i = \frac{y_i \cdot P}{x_i \cdot P_i^{\text{sat}}} \quad (1)$$

Persamaan (1) ini dikenal juga sebagai persamaan Raoult yang dimodifikasi.

Konstanta kesetimbangan antara fase uap dan fase liquid didefinisikan sebagai berikut :

$$K_i = \frac{y_i}{x_i} = \frac{\gamma_i P_i^{\text{sat}}}{P} \quad (2)$$

Prosedur iterasi untuk mencari temperatur bubble yaitu mencari harga temperatur jenuh dari komponen murni T_i^{sat} pada P (Prousnitz dkk., 2003).

$$T_i^{\text{sat}} = \frac{B_i}{A_i - \log P} - C_i \quad (3)$$

dimana A , B , C adalah konstanta Antoine untuk spesies i , untuk semua estimasi awal.

$$T = \sum_i x_i T_i^{\text{sat}} \quad (4)$$

Untuk $i=1, 2, 3$.

Harga T sebagai harga awal akan digunakan untuk mengetahui tekanan uap jenuh suatu zat yang akan diestimasi dengan persamaan Antoine. Sedangkan harga T baru dicari menurut persamaan :

$$T = \frac{B_j}{A_j - \log P_i^{\text{sat}}} - C_j \quad (5)$$

Kemudian mencari kesalahan antara T baru dengan T awal dengan Persamaan (6)

$$\left| \frac{(T_{\text{baru}} - T_{\text{awal}})}{T_{\text{baru}}} \right| \leq \epsilon \quad (6)$$

Koefisien aktifitas γ_i diperoleh dari :

$$\ln \gamma_i = \ln \gamma_i^r + \ln \gamma_i^s \quad (7)$$

$$\ln \gamma_i^r = \ln \frac{q_i}{x_i} + \frac{r}{2} q_i \ln \frac{1}{q_i} + \ell_i - \frac{q_i}{x_i} \sum_{j=1}^m x_j \ell_j \quad (8)$$

$$\ln \gamma_i^s = q_i \left[1 - \ln \left(\sum_{j=1}^m \theta_j \tau_{ji} \right) - \sum_{j=1}^m \frac{\theta_j \tau_{ji}}{\sum_{k=1}^m \theta_k \tau_{kj}} \right] \quad (9)$$

$$\ell_i = \frac{z}{2} (\ell_i - q_i) - (r_i - 1) \quad (10)$$

dimana nomor koordinasi z diset sama dengan 10.

$$q_i = \frac{x_i \tau_i}{\sum_{j=1}^m x_j \tau_j} \quad (11)$$

$$\theta_i = \frac{q_i x_i}{\sum_{j=1}^m q_j x_j} \quad (12)$$

Parameter r , q adalah konstanta struktur molekul komponen murni berdasarkan ukuran molekul dan luas permukaan luar.

Untuk tiap kombinasi biner dalam campuran multi komponen, ada dua parameter yang bisa disesuaikan yaitu r , q :

$$\tau_{ij} = \exp \left(\frac{u_{ij} - u_{ii}}{RT} \right) \quad [13]$$

$$\tau_{ij} = \tau_{ji} = 1$$

Model Differential-Algebraic-Equations (DAE) untuk distilasi batch sistem terner, dengan asumsi tidak membentuk dua fase Ekuida oleh Deherty dan Perkins (1978) sebagai berikut:

$$\frac{dx_i}{dt} = \frac{-dx_i}{(x_i - y_i)} \quad [14]$$

$$\xi = \ln \left(\frac{W_i}{W} \right) \quad [15]$$

Dengan forward-finite-difference, Persamaan (15) menjadi:

$$x_{U+1} = x_U + (y_U - x_U) \Delta \xi \quad [16]$$

Dimana komposisi likuida mula-mula di bottom (x_U) dan $\Delta \xi$ ditentukan, sedangkan komposisi uap (y_U) dihitung menggunakan Persamaan BUBL-T (Prausnitz, 2001).

Validasi hasil simulasi biner yang diteliti menggunakan sistem hidrokarbon yang membentuk campuran ideal yaitu campuran benzene-toluene.

METODE PENELITIAN

3. Metodologi

Untuk menghitung tekanan uap jenuh digunakan persamaan Antoine, data parameter Antoine seperti Tabel 3.2. (Prausnitz, 2001), dimana suhu (T) dalam satuan K dan tekanan uap jenuh (P^{sat}) dalam satuan Bar. Untuk menghitung koefisien aktivitas (γ) menggunakan persamaan UNIQUAC, dimana harga parameter Interaksi biner UNIQUAC (u_{ij}), data volume molekuler (r) dan luas permukaan molekuler (q) Tabel 3.3, asumsi harga $\alpha = 10$.

Tabel 3.1 Komposisi umpan Ethanol-Air-HCl

Ran	Komposisi Umpan (fraksi mol)		
	Aseton	Butanol	Ethanol
1	0,8	0,1	0,1
2	0,7	0,2	0,1
3	0,7	0,1	0,2
4	0,6	0,3	0,1
5	0,6	0,1	0,3
6	0,5	0,1	0,4
7	0,4	0,1	0,5

Tabel 3.2 Parameter Antoine Aseton-Butanol-Ethanol

Komponen	Parameter Antoine		
	A	B	C
Aseton	4.2184	4.5493	5.3365
Butanol	197.01	1.995.14	1648.22
Ethanol	228.06	182.739	230.918

Sumber: Prausnitz, 2001

Tabel 3.3 Parameter UNIQUAC sistem terner Aseton-Butanol-Ethanol

Komponen	r	q
Aseton	2.5735	2.3359
Butanol	3.4542	3.0520
Ethanol	2.1054	1.9720

Sumber: Prausnitz, 2001

Dimana : Aseton(1)-Butanol(2)-Ethanol(3)

$$u_{11} = 0 \quad ; u_{12} = -198,659 \quad ; u_{13} = 98,75291$$

$$u_{22} = 453,669 \quad ; u_{23} = 0 \quad ; u_{33} = -32,707$$

$$u_{31} = 94,242 \quad ; u_{32} = 75,355 \quad ; u_{33} = 0$$

Validasi Hasil Simulasi dengan Sistem Ternar Metanol-Etanol-Propanol

Tabel 3.4 Komposisi umpan Metanol-Etanol-Propanol

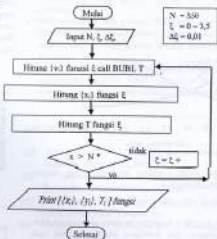
Sumber: Henley dan Seader, 1998

Untuk menghitung tekanan uap jenuh digunakan Persamaan Antoine

Tabel 3.5 Parameter Antoine Aseton-Butanol-Ethanol

Komponen	Parameter Antoine		
	A	B	C
Metanol	5.20277	1580.08	239.500
Etanol	228.06	182.739	230.918
Propanol	4.99991	1512.94	205.807

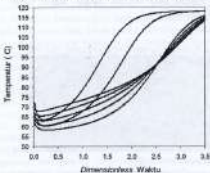
Sumber: Prausnitz, 2001



Gambar 3.1 Algoritma distilasi batch

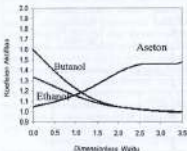
4. Hasil dan Pembahasan

Profil temperatur di bottom menunjukkan hasil yang mendekati dengan temperatur di distilat, karena proses distilasi batch sederhana beroperasi dalam kondisi total reflux. Oleh karena itu profil temperatur hasil simulasi seperti Gambar 4.1 merupakan jumlah temperatur komponen-i setelah dilakukan normalisasi dikalikan komposisi liquids di bottom komponen-i.



Gambar 4.1 Profil temperatur sistem ternar Aseton-Butanol-Etanol untuk Run-1 sampai Run-7

Dari Gambar 4.1 menunjukkan profil temperatur etanol-air-HCl untuk Run-1 sampai Run-6 secara keseluruhan naik terhadap dimensionless waktu. Hal ini disebabkan karena komponen yang diuapkan dengan porsi yang lebih besar adalah komponen etanol, sehingga dibutuhkan temperatur yang lebih besar untuk menguapkan komponen air yang belum diuapkan.



Gambar 4.2 Profil koefisien aktivitas sistem ternar Aseton-Butanol-Etanol

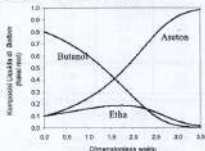
Untuk daerah 1 koefisien aktivitas air menunjukkan profil menurun dan koefisien aktivitas etanol naik sehingga tidak berpengaruh terhadap profil temperatur. Gambar 4.2 menunjukkan bahwa semakin

besar komposisi air pada umpan masuk maka pengaruh koefisien aktivitas etanol maksimum pada saat dimensionless waktu menunjukkan 1,75 ; setelah itu profil menurun pada akhirnya konstan. Semakin besar komposisi air pada umpan masuk menunjukkan slope penurunan temperatur lebih curam, karena komposisi air pada umpan masuk sangat mempengaruhi temperatur campuran etanol-air-HCl, makin besar komposisi air pada umpan masuk temperatur campuran makin tinggi.

Untuk daerah 2 profil temperatur naik untuk semua run, semakin besar komposisi etanol pada umpan masuk menunjukkan slope kenaikan temperatur yang lebih landai. Hal ini disebabkan karena komposisi etanol pada umpan masuk sangat mempengaruhi temperatur campuran etanol-air-HCl, makin besar komposisi etanol pada umpan masuk temperatur campuran makin kecil.

Untuk daerah 3 profil temperatur naik dan sebagian konstan, untuk profil temperatur naik berarti dalam pemisahan campuran etanol-air-HCl masih ada etanol yang belum teruapkan, sedangkan untuk profil komposisi konstan berarti sudah semua etanol teruapkan. Makin besar komposisi air pada umpan masuk maka temperatur campuran makin besar dan profil temperatur lebih cepat konstan. Untuk daerah dimensionless waktu 3,5 profil temperatur belum konstan, sehingga dibutuhkan dimensionless waktu yang lebih besar untuk memperoleh profil temperatur yang konstan. Jika distilasi batch sederhana diteruskan sampai dimensionless waktu yang sangat besar, maka akan diperoleh nilai komposisi masing-masing campuran negatif, hal seperti ini tidak dikehendaki.

Dari Gambar 4.2 menunjukkan profil komposisi liquids di bottom, komposisi etanol menunjukkan profil komposisi menurun dari komposisi awal dan komposisi air menunjukkan profil naik dari komposisi awal. Karena komponen etanol merupakan komponen volatile sedangkan komponen air merupakan komponen non-volatile, pada saat proses distilasi batch sederhana komponen etanol dalam porsi yang lebih besar diuapkan dan sisanya adalah komponen air. Komponen air belum mendekati murni dengan dimensionless waktu 3,5 ; salah satu cara untuk memperoleh komponen air lebih murni dari komposisi awal yaitu dengan memperbesar komposisi air pada umpan masuk.

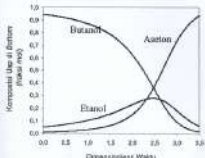


Gambar 4.2. Profil komposisi liquids di bottom sistem ternar Aseton-Butanol-Etanol

Dari Gambar 4.4 menunjukkan profil komposisi uap di bottom, pada keadaan total refluks untuk menghitung komposisi etanol dan komposisi air di bottom maka temperatur awal ditentukan sama dengan 25 °C dan komposisi etanol dan komposisi air pada saat awal ditentukan, kemudian dihitung berdasarkan BUBL T. Pada saat total refluks komposisi etanol dan komposisi air di distilat tidak sama dengan komposisi etanol dan komposisi air saat awal. Untuk komposisi etanol di bottom lebih besar dari komposisi etanol awal, karena komponen etanol merupakan komponen volatile sehingga lebih banyak menguap. Untuk komposisi air di bottom lebih kecil dari komposisi etanol awal, karena komponen etanol merupakan komponen non-volatile sehingga lebih sedikit menguap.

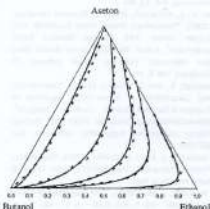
Profil komposisi uap di bottom setelah total refluks untuk komposisi etanol terus menurun, sedangkan komposisi air terus naik. Hal ini disebabkan karena komponen volatile diuapkan dalam porsi yang lebih besar dan sisanya adalah komponen non-volatile, setelah proses distilasi batch sederhana berlangsung maka komponen non-volatile yang diuapkan dalam porsi yang lebih besar. Komponen etanol belum menguap semua pada saat dimensionless waktu 3,5 ; salah satu cara untuk memperoleh komponen etanol di distilat dengan dimensionless waktu yang lebih kecil yaitu dengan memperbesar komposisi air pada umpan masuk.

Dari Gambar 4.3 menunjukkan profil komposisi uap di bottom semakin kecil komposisi etanol pada umpan masuk maka semakin besar komposisi etanol pada saat total refluks, hal ini disebabkan temperatur campuran tinggi sehingga komponen non-volatile lebih banyak menguap. Profil komposisi uap di bottom setelah total refluks untuk komposisi etanol terus menurun, sedangkan komposisi air terus naik. Hal ini disebabkan karena komponen volatile diuapkan dalam porsi yang lebih besar dan sisanya adalah komponen non-volatile, setelah proses distilasi batch berlangsung maka komponen non-volatile yang diuapkan dalam porsi yang lebih besar. Komponen etanol semua teruapkan pada saat dimensionless waktu menunjukkan nilai 2,25 ; Run-7 membutuhkan dimensionless waktu yang lebih kecil untuk memperoleh komponen etanol yang lebih murni dari komponen etanol awal.



Gambar 4.3. Profil komposisi uap di bottom sistem ternar Aseton-Butanol-Ethanol Run-1

Hasil verifikasi antara hasil simulasi dengan validasi distilasi batch,



Gambar 4.4. Profil komposisi likuida di bottom sistem ternar Aseton-Butanol-Ethanol untuk hasil simulasi dan validasi dengan sistem ternar Methanol-Ethanol-Propanol

Peta kurva residu di bottom menunjukkan campuran azeotropik, antara hasil simulasi dan validasi menunjukkan profil yang mendekati sama.

5. KESIMPULAN

1. Profil temperatur Aseton-Butanol-Ethanol secara keseluruhan naik terhadap dimensionless waktu, kecuali pada awal proses menunjukkan profil temperatur menurun, disebabkan karena sifat karakteristik campuran.
2. Profil komposisi likuida etanol di bottom setelah proses berlangsung menunjukkan komposisi etanol minimum, setelah proses selesai profil komposisi konstan.
3. Profil komposisi uap ethanol di bottom setelah proses berlangsung menunjukkan komposisi etanol maksimum, setelah proses selesai profil komposisi konstan.
4. Peta kurva residu di bottom menunjukkan campuran azeotropik, antara hasil simulasi dan validasi menunjukkan profil yang mendekati sama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fiesser dan Fisser, (1963), "Pengantar Kimia Organik", Dhiwantara, Bandung.
- [2] Judasamidjojo, Mulyono, (1992), "Teknologi Fermentasi", Rajawali Press Jakarta
- [3] Kirk Othmer, "Encyclopedia of Chemical Technology", Vol. 8, John Wiley and Sons, Inc.
- [4] Sardjoko, (1991), "Bioteknologi", Gramedia, Jakarta.

- [5] Sari N. K., Kuswandi, Nonot S., Renanto Handogo, (2006), "Komparasi Peta Kurva Residu Sistem Ternar ABE Dengan Metanol-Etanol-1-Propanol", *Jurnal REAKTOR, Jurusan Teknik Kimia UNDIP Semarang*, Vol. 13, No. 2.
- [6] Sari N. K., Kuswandi, Nonot S., Renanto Handogo, (2007), "Pemisahan Sistem Biner Etanol-Air Dan Sistem Ternar ABE Dengan Distilasi Batch Sederhana", *Jurnal INDUSTRI Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi, Fakultas Teknik Industri ITS Surabaya*, Vol. 6, No.5.
- [7] Handogo, H., dan G. Wibawa, (1997), "Experiments and Correlations of Vapor-Liquid Equilibria of Acetone-1-Butanol-Ethanol Ternary Mixture", *International Conference on Fluid and Thermal Energy Conversion, Yogyakarta, Indonesia*, hal. 587-592.
- [13] Henley, E. J. dan J. D. Seader (1998), "Separation Process Principles", hal. 586-712, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [8] Prausnitz, J. M., (2001), "The Properties of Gases and Liquids", ed. 5, hal. A.50 - A. 51, Mc. Graw-Hill, New York.
- [9] Rayleigh, L., (1902), *Phil. Mag. [vi.]*, No. 4 (23), hal. 521.
- [10] Widagdo, S. dan Warren D. Seider, (1996), "Journal Review Azeotropic Distillation", *AIChE J.*, Vol. 42, No.1, hal. 96-130.